

氏名（本籍・生年月日）	西田 翼(三重県・平成1年3月12日)
学位の種類	博士（理学）
学位記番号	甲 第114号
学位授与の日付	平成28年 9月 30日
学位授与の要件	信州大学学位規程 第5条第1項該当
学位論文題目	結合共振器メタマテリアルとそのテラヘルツ領域における応用に関する研究
論文審査委員	主査 宮丸文章 准教授

論文内容の要旨

結合共振器メタマテリアルとそのテラヘルツ領域における応用に関する研究

本論文においては、メタマテリアルと呼ばれる人工物質に関する研究分野の中でも、ふたつの共振器が電磁的に結合した系である結合共振器メタマテリアルに関する研究について報告する。本論文のテーマは、古典アナロジーとしての結合共振器メタマテリアルの研究、2重周期構造により観測される結合共振器メタマテリアル特性に関する研究、そして結合共振器メタマテリアルの水溶液センシングへの応用検討の3つに大別される。以下には3つのテーマに関する要旨を述べる。

原子系において観測される電磁誘起透明化現象(EIT)の古典アナロジーとして、ふたつの調和振動子が結合したモデルが用いられる。また同様の系において Autler-Townes 分裂(ATS)と呼ばれる現象も模擬でき、これは同相および逆相モードにモードが分裂する場合に対応する。EITの観測には結合力が小さくならず、結合力が強い場合にはモード分裂効果が強く現れる。結合力に応じてふたつの現象の支配性が遷移する様子は、原子系では EIT-ATS 遷移と呼ばれる。メタマテリアル分野においても EIT 模擬が行われていたが、この EIT-ATS 遷移に関するはっきりとした報告は無かった。我々は伝送線路モデルを利用して、メタマテリアル系における EIT-ATS 遷移の研究を行った。ファイバー系における先行研究との比較を行った結果、メタマテリアル系ではどちらか一方の効果だけではなく、両方の効果を取り入れなければならない可能性が示唆された。このような違いが現れる原因は、メタマテリアル系における共振器の Q 値が低いためであると、複素平面上における根軌跡の解析で判明した。

古典アナロジー以外にも結合共振器メタマテリアルは応用面での期待から、種々の設計方法が提案されている。我々はメタマテリアルを構成するメタアトムと呼ばれる共振器をふたつの異なる周期により配置する考えを、新しい結合共振器メタマテリアルの設計方法として提案す

る。2重周期格子として、格子定数が異なりかつ並進操作により重なり合わないふたつの正方格子を用いている。一方は格子定数が小さい密な周期配列であり、もう一方は格子定数が密な場合の2倍となる疎な周期配列である。今回用いたメタアトム的设计では、単一の周期により配置された場合、透過スペクトルにはひとつの共鳴線しか現れない。しかしこれらの格子を同一平面に配置してメタマテリアルを設計した場合、透過スペクトルにはふたつの透過ピークとひとつの透過ディップが現れる。ピークとディップに対応する周波数において、疎な周期配列のメタアトムと密な周期配列のメタアトムで電場の空間分布が異なることがわかった。これは疎な周期配列が作り出す全体振動モードと密な周期が作り出す全体振動モードが結合して、結合共振器系となっていることを示している。そのことを明確にするため、2重周期により配置された双極子間の相互作用について、電場の対称性を含めて考察したモデルを提案した。このモデルはふたつの共振器が結合した結合共振器としての運動方程式と等価であり、2重周期メタマテリアルの周波数応答を大まかに再現できる。

結合共振器メタマテリアルの具体的な応用例としては、テラヘルツ領域における水溶液センシングへの応用を考えた。メタマテリアルセンシングの場合、誘電体基板の上に作られたメタマテリアルにセンシング対象物を乗せた時、その反射スペクトルがどのように変化するかで試料の変化を判断する。本研究では、水のような高吸収媒質の場合においても吸収率変化を敏感に捉えられるメタマテリアルとして、結合共振器メタマテリアルを利用できないか検討した。考案したメタマテリアルは、誘電体スペーサーを挟んで、ふたつの共振器が電磁波の進行方向に積層された構造を持つ。ふたつの共振器は近接場により結合しているため、試料を作用させていない場合、反射スペクトルにはふたつの共鳴線が観測される。一方の共振器の上に吸収が強い試料を乗せると、その共振器の共振はほとんど現れなくなり、もう一方の共振器による共鳴線のみが反射スペクトルに現れる。吸収が強い場合にも反射スペクトルには共鳴線が残るため、反射率の変化が大きくなると期待した。我々はふたつの共振器の Q 値比 T を変えた様々な結合共振器メタマテリアルを設計し、数値シミュレーターによりその反射スペクトルを計算した。そして T が大きくなると、結合共振器メタマテリアルの感度も向上することが分かった。しかし従来通りのメタマテリアル設計と比較した場合、はっきりとした優位性を確認することはできなかった。